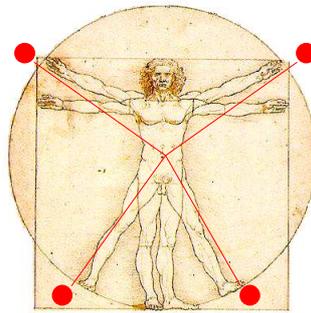


# TECNOLOGÍ@ y DESARROLLO

*Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente*

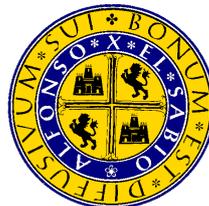
VOLUMEN VII. AÑO 2010

SEPARATA



PANTALLAS DE HORMIGÓN CON PERLAS DE POLIURETANO  
EXPANDIDO: COMPARATIVA DE ATENUACIÓN ACÚSTICA

David Colorado Aranguren, Laura Abad Toribio, Luis Couceiro Martínez,  
Tomás García Martín, Rafael Magro Andrade,



UNIVERSIDAD ALFONSO X EL SABIO

Escuela Politécnica Superior  
Villanueva de la Cañada (Madrid)

© Del texto: David Colorado Aranguren, Laura Abad Toribio, Luis Couceiro Martínez, Tomás García Martín, Rafael Magro Andrade  
Diciembre, 2010.

[http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECMAD10\\_007.pdf](http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECMAD10_007.pdf)

© De la edición: *Revista Tecnol@ y desarrollo*  
Escuela Politécnica Superior.  
Universidad Alfonso X el Sabio.  
28691, Villanueva de la Cañada (Madrid).  
ISSN: 1696-8085

No está permitida la reproducción total o parcial de este artículo, ni su almacenamiento o transmisión ya sea electrónico, químico, mecánico, por fotocopia u otros métodos, sin permiso previo por escrito de la revista.

*Tecnol@ y desarrollo. ISSN 1696-8085. Vol.VII. 2010.*

# **PANTALLAS DE HORMIGÓN CON PERLAS DE POLIURETANO EXPANDIDO: COMPARATIVA DE ATENUACIÓN ACÚSTICA**

**David Colorado Aranguren (a), Laura Abad Toribio (b),**

**Luis Couceiro Martínez (c), Tomás García Martín (d) Rafael**

**Magro Andrade (e),**

(a) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Área de Matemáticas y Física Aplicadas  
Tf: 918105012, email: [dcolara@uax.es](mailto:dcolara@uax.es)

(b) Dra en Ciencias Físicas, Área de Matemáticas y Física Aplicadas.  
Tf: 918105207, email: [labad@uax.es](mailto:labad@uax.es)

(c) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Área de Ingeniería Ambiental.  
Tf: 918109128, email: [lmartcou@uax.es](mailto:lmartcou@uax.es)

(d) Dr Ingeniero Químico, Subdirector de la Escuela Politécnica Superior  
Tf: 918109145, email: [tgarcmar@uax.es](mailto:tgarcmar@uax.es)

(e) Dr Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Director de la Escuela Politécnica Superior.  
Tf: 918105087, email: [rmagrand@uax.es](mailto:rmagrand@uax.es)

Universidad Alfonso X el Sabio. Avda de la Universidad nº 1, Villanueva de la Cañada, 28691

## RESUMEN:

El material más utilizado en la fabricación de pantallas acústicas es el hormigón, por lo que el conocimiento de su funcionamiento acústico puede ayudar a mejorar las condiciones de diseño de las pantallas. Mediante la inclusión de un porcentaje reducido de porexpan en la dosificación del hormigón se puede mejorar el aislamiento acústico de la pantalla. En la Universidad Alfonso X el Sabio, se han modelizado pantallas de hormigón con maquetas a escala con el objetivo de analizar la influencia de la densidad en las propiedades acústicas del hormigón

**PALABRAS CLAVE:** Atenuación acústica, hormigón, porexpan, pantallas, barreras

## ABSTRACT:

*As concrete is large being used in acoustic screens construction, a deph knowledge of its acoustic properties may help to improve the design conditions of these kind of barriers. Including a small percentage of porexpan pearls in the concrete core, the acoustic insulation of the screen is lightly improved. At Alfonso X el Sabio University laboratories, concrete barriers have been modelized with scaled models in order to analyze the influence of material density in the acoustic properties of concrete.*

**KEY-WORDS:** *. acoustic atenuation, concrete, porexpan, screens, barriers*

**SUMARIO:** 1. Introducción, 2. Sistema experimental, 3. Metodología de ensayo, 4. Análisis de resultados, 5. Conclusiones, 6. Agradecimientos, 7. Referencias.

**SUMMARY:** 1. Introduction, 2. Experimental set-up, 3. Methodology of test 4. Analysis of results 5. Conclusions, 6. Acknowledgments, 7. References.

[http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECMAD10\\_007.pdf](http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECMAD10_007.pdf)

## **1. Introducción**

El objetivo de este trabajo es encontrar la relación existente entre la atenuación acústica producida por una pantalla acústica de hormigón y la densidad del material que la forma.

La inclusión de perlas de poliuretano expandido (en adelante porexpan) en la mezcla cementosa permite hacer disminuir la densidad del hormigón. Con los ensayos descritos en los siguientes puntos se estudia cómo afecta ese porexpan al funcionamiento acústico, dando como resultados una pequeña mejora en las atenuaciones producidas. El estudio se ha fragmentado, de tal manera que se ha medido la atenuación producida en pantallas de distintos espesores, con distintas densidades y sometidas a ruidos de diferentes frecuencias.

Las conclusiones obtenidas pueden ser la base para la futura inclusión de materiales residuales en la composición del hormigón de las pantallas.

Las pantallas acústicas pueden tener distintas morfologías y no estar siempre formadas por paramentos verticales. Podrían darse casos, y de hecho hay algunos ejemplos contruidos, de pantallas con curvatura o en zig-zag. La forma de la pantalla puede tener grandes efectos en la eficacia de la pantalla y disminuir su altura, lo que siempre es beneficioso, [MAY80].

Sin embargo, este trabajo, se centra en el estudio acústico del material que forma la pantalla y se ha decidido que la morfología a utilizar en los ensayos sea la vertical.

El diseño de una pantalla y la medición de su eficacia pueden hacerse por los métodos clásicos y algoritmos de cálculo usados por los programas de ordenador, pero tienen muchas limitaciones, [MAEK68]. Sólo la medición en una maqueta hace que se pueda prever el comportamiento de la pantalla acústica antes de realizarla. En la actualidad, y debido al alto coste, y al mucho tiempo que requieren los estudios sobre las maquetas, éstas están dejando paso a las simulaciones digitales, [ALEG08].

Este trabajo se basa en el estudio del comportamiento acústico de hormigones de distinta densidad. Para ello se han diseñado y fabricado unas maquetas a escala reducida, de cuyo ensayo se obtendrán resultados aplicables a la escala real.

Actualmente, existen varias líneas de trabajo abiertas en el diseño de pantallas de hormigón más eficientes. En primer lugar se han realizado estudios relacionados con la inclusión de aire

o gas en el interior del hormigón, con objeto de conseguir un hormigón aligerado. En estos casos, la porosidad aumenta considerablemente y se consigue un coeficiente de absorción acústica alto gracias a que el rozamiento que soporta la onda acústica al pasar a través del material aumenta proporcionalmente. La disminución de densidad del hormigón se contrarresta con el aumento de la porosidad y el comportamiento acústico es bueno, [NARA05].

Existe otro enfoque parecido al que se utiliza en este estudio, que se basa en la utilización de caucho procedente del reciclado de neumáticos como parte del árido añadido al hormigón. En estos estudios se llega a añadir tan solo un 5% de caucho, y los resultados a nivel acústico son satisfactorios, [ALBA08].

No existen hasta el momento estudios en los que se sustituya el árido por materiales derivados del poliestireno, siendo esta línea atractiva a nivel acústico ya que el poliestireno es un buen aislante y puede mejorar el comportamiento global del sistema.

## **2. Sistema experimental**

El modelo experimental consta de las siguientes partes: caja anecoica y placas de hormigón

- Caja anecoica:

Para realizar las mediciones acústicas se va a utilizar una “caja” de madera fabricada a escala donde poder insertar las placas de hormigón y donde poder colocar un sonómetro.

Este modelo ha sido ya fabricado y utilizado por la profesora Marta Serrano Pérez de la Universidad Alfonso X el Sabio en la realización de su Trabajo Fin de Máster, “La difracción en bordes de pantalla”, y ha sido cedido por la misma, de forma temporal, para la realización de estos ensayos. En la referencia [ABAD10] se describe dicho modelo.

Este modelo experimental está fabricado en madera de ocumen. Se ha optado por este tipo de madera, por sus características físicas. Es posiblemente la madera más fácil de cortar y de dar forma. Posee una gran elasticidad y resistencia a los choques. Es fuerte para su peso. Se usa principalmente para aislamiento, ayudas a la flotabilidad y marquetería. El modelo a escala de la caja acústica tiene sus dimensiones totales de 50x70x52 cm (medidas exteriores). Una de

6. David Colorado Aranguren, Laura Abad Toribio, Luis Couceiro Martínez, Tomás García Martín y Rafael Magro Andrade

sus paredes es doble, de altura 44 cm. Frente a ella, hay un hueco donde se encajan las placas de hormigón a ensayar. (ver Figura 1)



Figura1: Cana anecoica

Dentro de la caja se coloca un sonómetro para medir la atenuación producida al ir variando la composición y espesor de las placas de hormigón. La altura de colocación del sonómetro es de 20 cm sobre el suelo de la caja acústica y permanece fijo.

- Placas de hormigón

Para la realización del ensayo se han fabricado placas de hormigón de distintos espesores y densidades. La densidad del material usado parece un factor muy importante en la caracterización del comportamiento acústico de una pantalla. De entre todos los posibles materiales se ha elegido el hormigón. El hormigón es el material más utilizado en la fabricación de pantallas y es además el que mejor permite hacer estudios de densidad. Sería imposible hacer dichos estudios en otros materiales habituales de las pantallas como el acero (pantallas metálicas) o el vidrio (pantallas transparentes). El comportamiento acústico de un panel de hormigón es bueno, pero que duda cabe que su espesor tendrá gran relevancia en su eficacia como aislamiento. A mayor espesor mayor aislamiento.

Las placas fabricadas tienen forma rectangular, siendo sus medidas de 45,5x47,5 cm (ancho x alto). Se han fabricado dos series de placas de 2 cm y 3 cm de espesor respectivamente.

La densidad del material se ha ido variando añadiendo perlas de porexpan a la mezcla. De esta manera se ha conseguido bajar la densidad del hormigón hasta un 15%. Se han ensayado por

tanto 3 densidades distintas de hormigón para unos espesor de 2 cm, 3 cm y 5 cm. El espesor de 5 cm se obtiene uniendo las placas de 2 y 3 cm.

Los materiales utilizados en la fabricación de las placas han sido:

- Cemento Portland: CEM II/B-M (P-L) 32,5N, con una densidad seca de 1230 kg/m<sup>3</sup>
- Arena de río: con una densidad seca de 1400 kg/m<sup>3</sup>
- Agua
- Porexpan: en formato perlas, con una densidad de 15 kg/m<sup>3</sup>

En la dosificación del hormigón se han sustituido los áridos por las perlas de porexpan. Cuanto más porexpan haya en la mezcla, menor será la densidad del producto, por lo que dosificando de forma correcta la cantidad de porexpan añadida, se puede controlar la densidad del hormigón final. La dosificación de partida utilizada es una de las clásicas para morteros 3-1-1 (arena-cemento-agua, cantidades dadas en volumen). Esta dosificación cumple con las necesidades del ensayo:

- La mezcla obtenida tiene una alta resistencia
- La mezcla obtenida tiene una gran trabajabilidad, y permite que sobre ella se añadan las perlas de porexpan

En la Figura 2 se muestra la pantalla en fase de hormigonado, y una de las pantallas ya colocada en la caja anecoica.



Figura 2: Pantalla en fase de hormigonado (izquierda),  
Colocación de la pantalla-en la caja anecoica (derecha)

### 3. Metodología de ensayo

Para poder realizar las mediciones sobre el modelo a escala construido como parte de este trabajo, se ha instalado en la Universidad Alfonso X el Sabio un dispositivo electroacústico que permite emitir una señal acústica de frecuencia controlada, desde una fuente que puede considerarse como puntual.

Se han emitido frecuencias comprendidas entre los 250 Hz y los 3000 Hz, intentando representar el espectro de ruido habitual generado por el tráfico rodado y ferroviario.

Mediante la colocación de dos sonómetros delante y detrás de la pantalla se obtiene, por diferencia de niveles sonoros, la atenuación acústica de la misma.

En la Tabla 1 se muestra una de las campañas de ensayos realizados.

Tabla I: Campaña de ensayos

<b>CAMPAÑA DE ENSAYOS</b>		
<b>VARIACIÓN DE ESPESORES Y DENSIDADES</b>		
<b>Nº de Placas</b>	<b>Espesor de pantalla</b>	<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>
1	2 cm	1720
2	3 cm	1720
3	Espesor 5cm =2+3 cm	1720
4	2 cm	1808
5	3 cm	1808
6	Espesor 5cm =2+3 cm	1808
7	2 cm	2040
8	3 cm	2040
9	Espesor 5cm =2+3 cm	2040

Haciendo cada ensayo con 6 frecuencias distintas se obtienen un total de 54 mediciones. Cada una de las placas se ha ensayado un total de 12 veces, de tal manera que la atenuación obtenida es una media estadística, evitando así posibles errores de medición.

Para analizar estos datos se recurre a la estadística clásica, lo que permite llegar a una serie de conclusiones que ayudan a encontrar la relación que liga la atenuación acústica con los parámetros de espesor y densidad.

#### **4. Análisis de resultados**

En las siguientes tablas se resumen los resultados obtenidos de los ensayos, en función de los distintos espesores, densidades y frecuencias:

Tabla II: Resultados del ensayo de la pantalla 1

Nº de pantalla	Espesor (cm)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Frecuencia (Hz)	Atenuación (dB)
1	2	1720	250	6,8
1	2	1720	400	11,2
1	2	1720	630	13,0
1	2	1720	1000	12,7
1	2	1720	2000	10,8
1	2	1720	3000	7,5

Tabla III: Resultados del ensayo de la pantalla 2

Nº de pantalla	Espesor (cm)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Frecuencia (Hz)	Atenuación (dB)
2	3	1720	250	7,2
2	3	1720	400	12,0
2	3	1720	630	14,5
2	3	1720	1000	14,1
2	3	1720	2000	11,5
2	3	1720	3000	8,2

Tabla IV: Resultados del ensayo de la pantalla 3

nº de pantalla	Espesor (cm)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Frecuencia (Hz)	Atenuación (dB)
3	5	1720	250	7,7
3	5	1720	400	12,2
3	5	1720	630	14,9
3	5	1720	1000	14,2
3	5	1720	2000	12,3
3	5	1720	3000	10,0

Tabla V: Resultados del ensayo de la pantalla 4

nº de pantalla	Espesor (cm)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Frecuencia (Hz)	Atenuación (dB)
4	2	1808	250	9,0
4	2	1808	400	9,5
4	2	1808	630	13,5
4	2	1808	1000	14,5
4	2	1808	2000	6,0
4	2	1808	3000	7,5

Tabla VI: Resultados del ensayo de la pantalla 5

nº de pantalla	Espesor (cm)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Frecuencia (Hz)	Atenuación (dB)
5	3	1808	250	9,0
5	3	1808	400	12,1
5	3	1808	630	16,2
5	3	1808	1000	15,5
5	3	1808	2000	8,5
5	3	1808	3000	8,0

Tabla VII: Resultados del ensayo de la pantalla 6

nº de pantalla	Espesor (cm)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Frecuencia (Hz)	Atenuación (dB)
6	5	1808	250	10,8
6	5	1808	400	12,5
6	5	1808	630	16,3
6	5	1808	1000	17,1
6	5	1808	2000	10,9
6	5	1808	3000	8,7

Tabla VIII: Resultados del ensayo de la pantalla 7

nº de pantalla	Espesor (cm)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Frecuencia (Hz)	Atenuación (dB)
7	2	2040	250	8,5
7	2	2040	400	9,0
7	2	2040	630	13,1
7	2	2040	1000	14,1
7	2	2040	2000	7,9
7	2	2040	3000	7,0

Tabla IX: Resultados del ensayo de la pantalla 8

nº de pantalla	Espesor (cm)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Frecuencia (Hz)	Atenuación (dB)
8	3	2040	250	8,5
8	3	2040	400	9,4
8	3	2040	630	14,5
8	3	2040	1000	15,3
8	3	2040	2000	8,3
8	3	2040	3000	7,4

Tabla X: Resultados del ensayo de la pantalla 8

nº de pantalla	Espesor (cm)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Frecuencia (Hz)	Atenuación (dB)
9	5	2040	250	8,5
9	5	2040	400	10,1
9	5	2040	630	15,0
9	5	2040	1000	16,2
9	5	2040	2000	8,5
9	5	2040	3000	8,1

La relación de la atenuación acústica con el espesor de la pantalla es clara. Las Figuras 3,4 y 5 representan las relaciones espesor-frecuencia-atenuación para cada densidad.

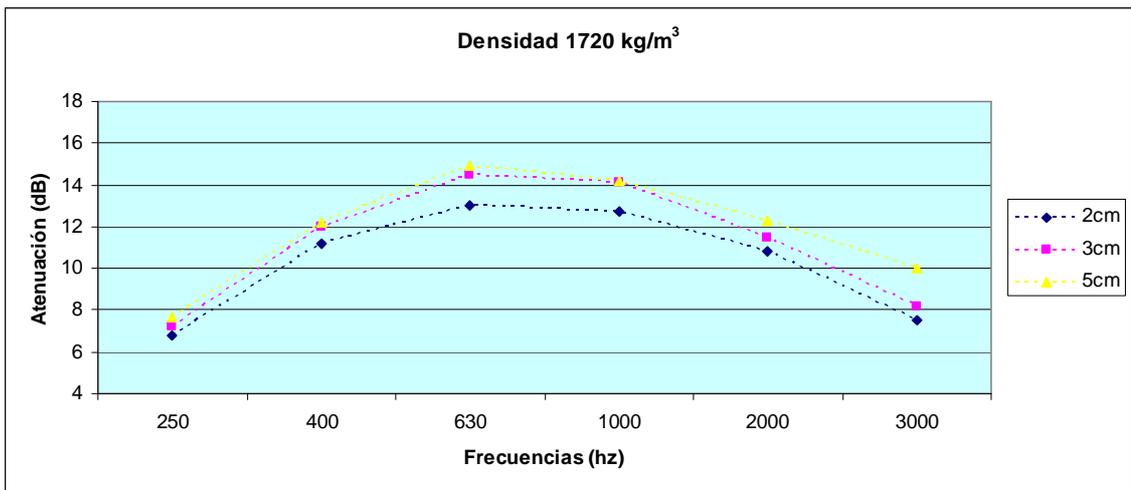


Figura 3: Atenuación en función de la frecuencia del ruido y el espesor de la pantalla, para un hormigón de densidad 1720 kg/m<sup>3</sup>

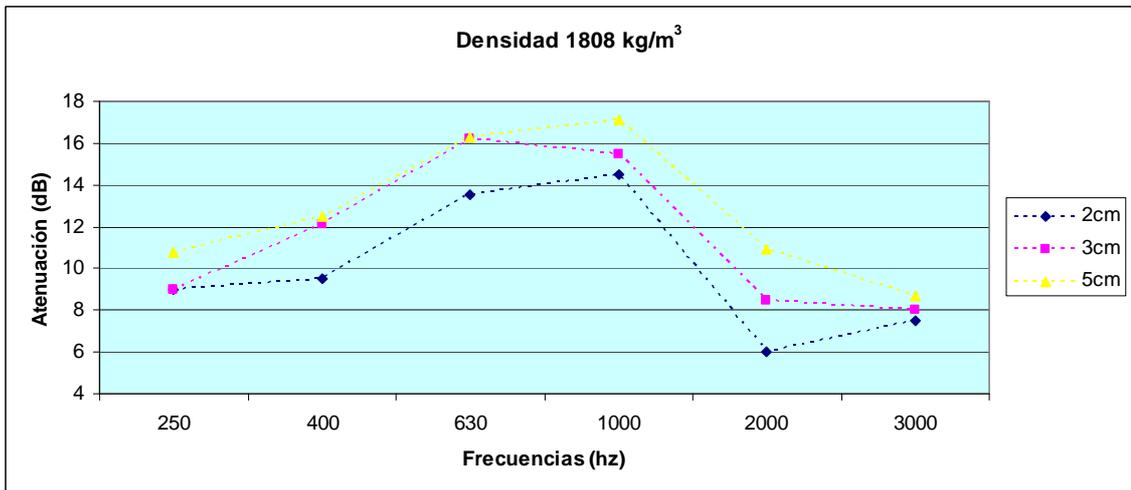


Figura 4: Atenuación en función de la frecuencia del ruido y el espesor de la pantalla, para un hormigón de densidad 1808 kg/m<sup>3</sup>

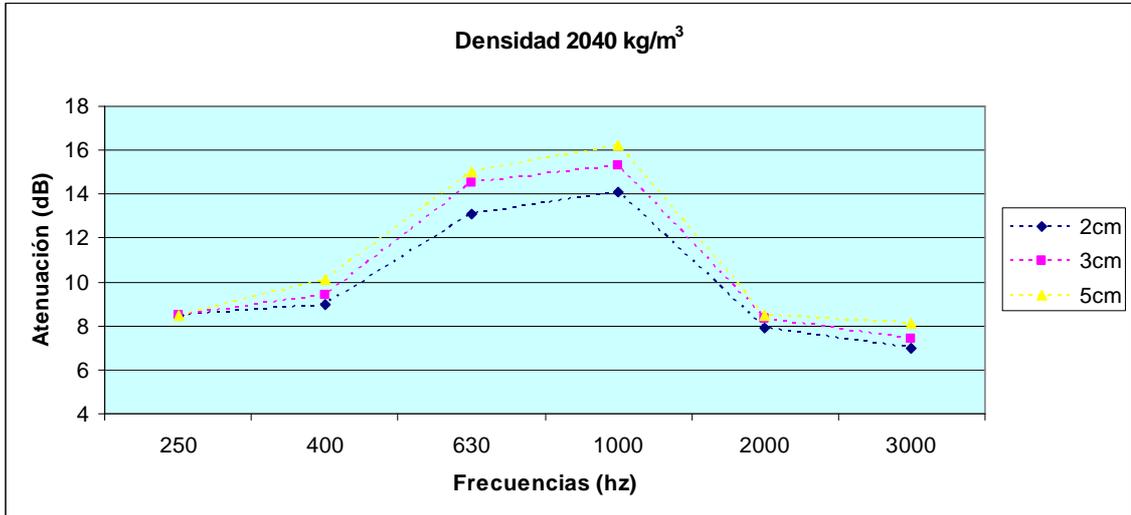


Figura 5: Atenuación en función de la frecuencia del ruido y el espesor de la pantalla, para un hormigón de densidad 2040 kg/m<sup>3</sup>

Como se puede observar a continuación en las Figuras 6, 7 y 8, la relación entre densidad-frecuencia y atenuación para cada espesor indica que para una densidad de 1808 kg/m<sup>3</sup> se obtiene un óptimo de funcionamiento acústico. Para una reducción de densidad del 10% (densidad de 1808 kg/m<sup>3</sup>) se mejora el comportamiento acústico pero sin embargo para una reducción de densidad del 15% (densidad de 1720 kg/m<sup>3</sup>) la atenuación es menor.

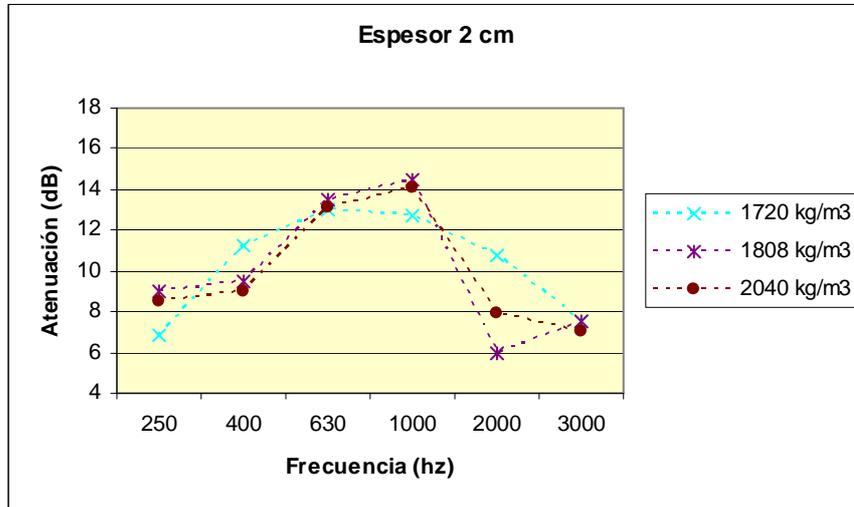


Figura 6: Atenuación en función de la frecuencia del ruido y la densidad del hormigón para un espesor de pantalla de 2 cm

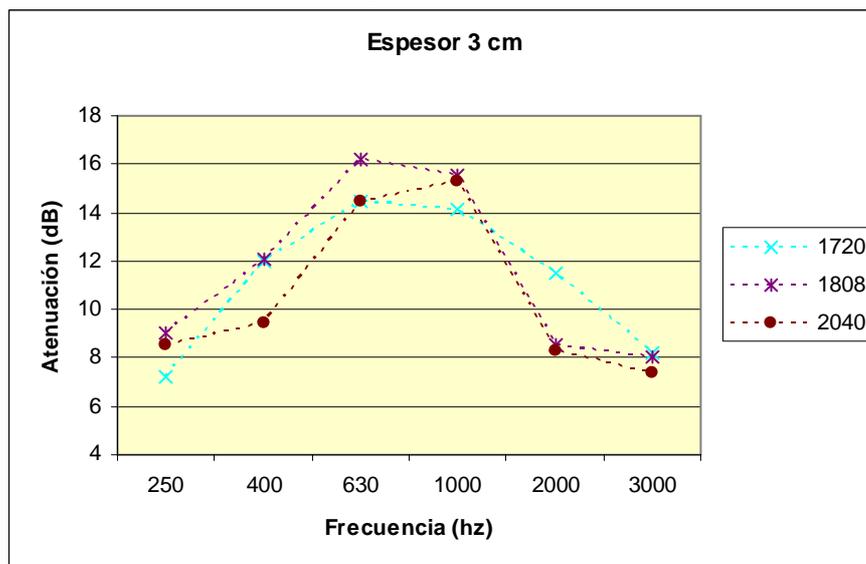


Figura 7: Atenuación en función de la frecuencia del ruido y la densidad del hormigón para un espesor de pantalla de 3 cm

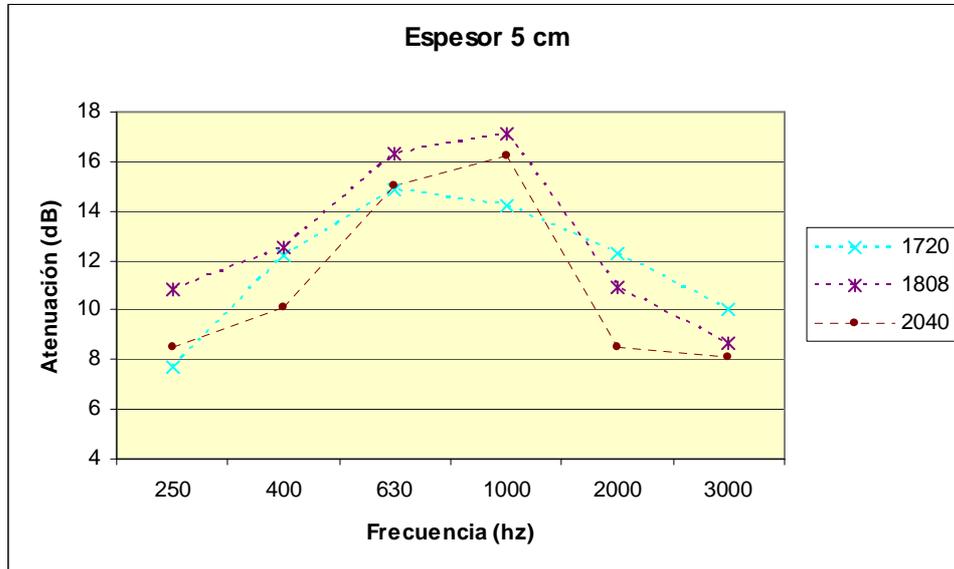


Figura 8: Atenuación en función de la frecuencia del ruido y la densidad del hormigón para un espesor de pantalla de 5 cm

A la vista de los resultados obtenidos y con objeto de completar un modelo global que nos relacione los cuatro parámetros de estudio, se ha realizado un estudio estadístico espacial. Utilizando el método de los mínimos cuadrados [PUY81], se ha realizado una regresión, obteniendo la siguiente ecuación de ligadura.

$$A = -72,28 + 2,60E + 82,00D + 6,15F - 0,30ED + 0,76EF - 0,22DF - 0,38EDF + -0,22E^2 - 21,59D^2 - 2,21F^2$$

(ec-1)

En esta ecuación  $A$  representa la atenuación en dB,  $E$  el espesor en cm,  $D$  la densidad en  $\text{kg}/\text{dm}^3$  y  $F$  la frecuencia en KHz. Esta ecuación se puede particularizar para cada espesor obteniendo las siguientes ecuaciones. Para  $E=2$  cm se obtiene la (ec-2), para  $E=3$  cm se obtiene (ec-3) y para  $E=5$  cm se obtiene la (ec-4):

$$A = -67,96 + 81,40D + 7,67F - 0,98DF - 21,59D^2 - 2,21F^2 \quad (\text{ec-2})$$

$$A = -66,46 + 81,10D + 8,43F - 1,36DF - 21,59D^2 - 2,21F^2 \quad (\text{ec-3})$$

$$A = -64,78 + 80,50D + 9,95F - 2,12DF - 21,59D^2 - 2,21F^2 \quad (\text{ec-4})$$

Las ecuaciones anteriores se han representado utilizando el programa SURFER, que permite representar las superficies atenuación-frecuencia-densidad. A continuación se muestran las superficies para el espesor de 3 cm (ver Figuras 9 y 10):

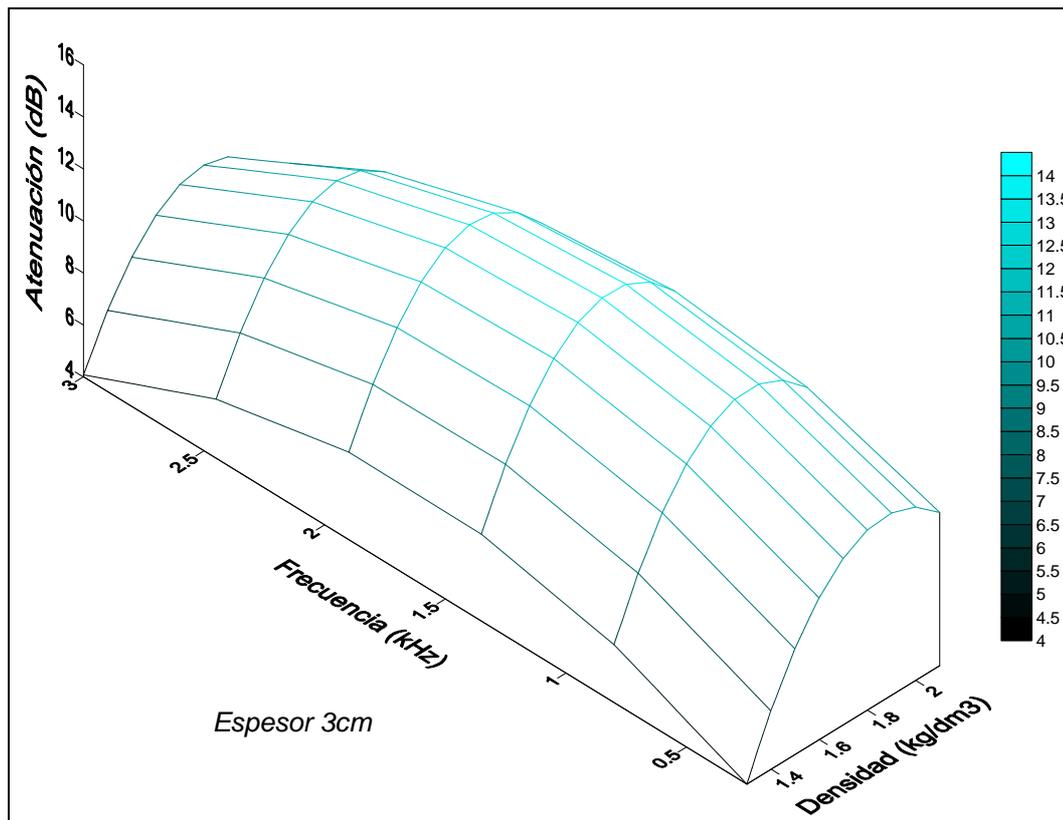


Figura 9: Atenuación en función de la frecuencia del ruido y la densidad del hormigón para un espesor de pantalla de 3 cm. Representación Surfer (Wareframe) de la ecuación (ec-3)

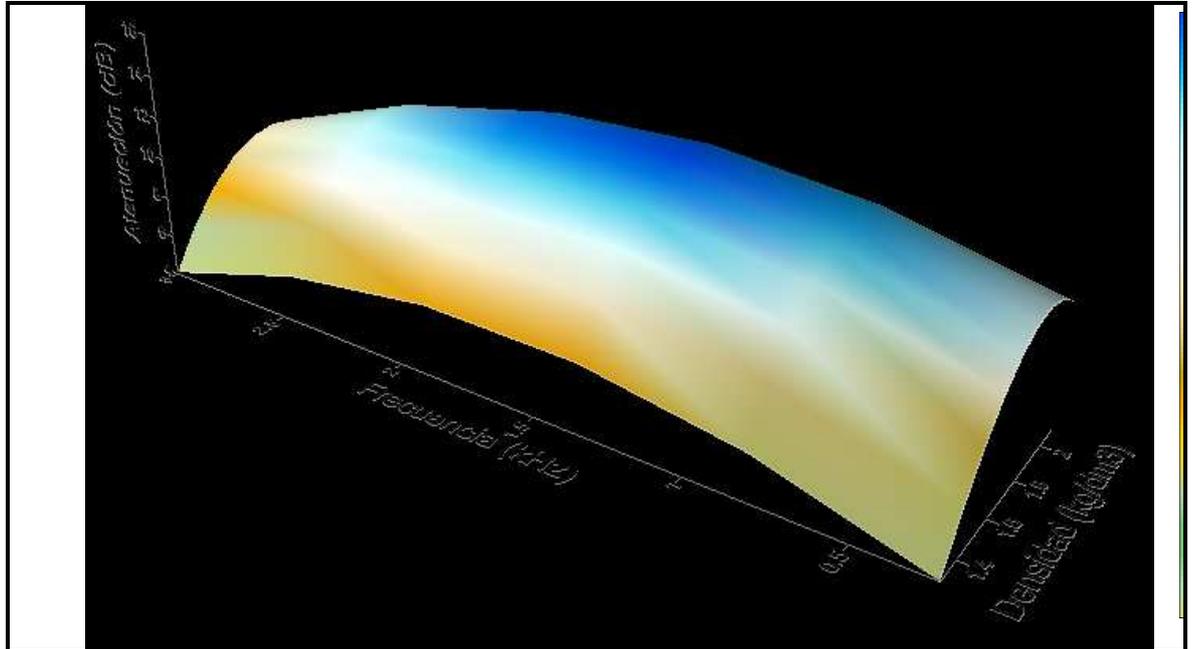


Figura 10: Atenuación en función de la frecuencia del ruido y la densidad del hormigón para un espesor de pantalla de 3 cm. Representación Surfer (Surface) de la ecuación EC.03

## 5. Conclusiones

La utilización de poliuretano expandido como árido del hormigón en unos porcentajes reducidos, permite mejorar el comportamiento acústico de la pantalla. Sin embargo, superado este porcentaje, las atenuaciones obtenidas por la pantalla disminuyen de forma generalizada. Así, las pantallas de densidad  $1808 \text{ kg/m}^3$  han dado mejores resultados que las de  $2040$  y  $1720 \text{ kg/m}^3$ .

La atenuación producida por una pantalla de hormigón es proporcional al espesor de la misma. Sin embargo los factores que más afectan a la atenuación son la frecuencia y la densidad. Podemos decir que para cada frecuencia existe una densidad óptima. En las Figuras 6, 7, 8 se observa como para la mayoría de las frecuencias la pantalla de densidad  $1808 \text{ kg/m}^3$  es la que mejor resultado da. En las mismas Figuras se puede observar como la pantalla de densidad  $1720 \text{ kg/m}^3$  tiene un comportamiento más homogéneo, influyendo menos en su atenuación la frecuencia del sonido emitido. Esta pantalla presenta un comportamiento

aceptable para todas las frecuencias y para 2000 Hz es la mejor solución de entre las planteadas.

Estos resultados abren una nueva línea de investigación, ya que se puede asegurar que existe una composición óptima para cada frecuencia de ruido.

Para el espectro de ruido analizado, se puede concluir que añadir un pequeño porcentaje de porexpan mejora el comportamiento acústico del hormigón tradicional. Sin embargo, los resultados obtenidos para la frecuencia de 3000 Hz abren la posibilidad de que para el espectro de ruido no estudiado (3 KHz-15 KHz) existan otras configuraciones más ligeras que den también buenos resultados.

En el ámbito de las ingenierías, la utilización de porexpan en vez de árido disminuye la resistencia del hormigón. Como en las pantallas, el dimensionamiento no se hace alcanzando los límites de resistencia del hormigón, y los coeficientes de seguridad a flexión son elevados, se puede concluir que la disminución de resistencia no es significativa para el uso que se le va a dar.

En el ámbito constructivo, las pantallas con porexpan son más ligeras y fáciles de transportar y colocar en obra. Por otro lado existe un pequeño ahorro en la cantidad de agua de amasado de la mezcla.

Respecto a la problemática ambiental, la utilización de porexpan procedente de RSU o RCD puede ser una salida al reciclado de este material. Del mismo modo se reduce el consumo de árido extraído de canteras.

## 6. Agradecimientos

Agradecemos a la Fundación UAX y al Banco de Santander el habernos concedido el Proyecto de Investigación denominado: ***“ESTUDIOS DE LOS FACTORES ASOCIADOS A LA ATENUACIÓN DEL SONIDO MEDIANTE BARRERAS ACÚSTICAS: DENSIDADES Y ESPESORES VARIABLES EN PANTALLAS DE HORMIGÓN. DIFRACCIÓN EN EL BORDE SUPERIOR DE LAS PANTALLAS Y ESTUDIOS MORFOLÓGICOS EN PANTALLAS ACÚSTICAS DISPERSAS MEDIANTE REDES MODULARES”*** y a Dña Marta Serrano Pérez por la cesión de la caja anecoica.

## 7. Referencias

- [ABAD10]. Abad L, Magro R, Serrano M, Moreno M de la O, “*Diseño de una maqueta para medidas de atenuación de ruido en tráfico rodado*”, *Tecnologí@ y Desarrollo/Medio Ambiente y Desarrollo*. ISSN 1696-8085, (2010).
- [MAEK68] Maekawa, Z “*Noise reduction by screens.*” *Appl. Acoust.* Vol.1, pp. 157-73. (1968).
- [ALEG08] Alegre, D “*Medidas correctoras de impacto acústico en infraestructuras (II/II) Pantallas acústicas y otros dispositivos reductores de ruido para carreteras y ferrocarriles*”, *Anales de mecánica y electricidad*, (2008).
- [ALBA08] Albano C., Camacho N., Hernández M., Bravo A. J., Guevara H. “*Estudio de concreto elaborado con caucho de reciclado de diferentes tamaños de partículas*”, *Rev. Fac. Ing. UCV* v.23 n.1 Caracas mar., ISSN 0798-4065, (2008).
- [MAY80] May D. N., Osman M.M. “*High way noise barriers; new shapes*”, *Journ of Sound and Vibration*, vol 71, pp. 73-101, (1980).
- [NARA05] Neithalath N., Marolf A., Weiss J. and Olek J. “*Modeling the Influence of Pore Structure on the Acoustic Absorption of Enhanced Porosity Concrete*” *Journal of Advanced Concrete Technology*, Vol. 3 No. 1, 29-40. (2005).
- [PUY81] J. Puy Huarte: “*Calculo numérico*” Universidad Politécnica de Madrid,. ISBN 84-7493-043-X. (1981)